خطوط النقل والألياف البصرية

شبكات الألياف البصرية

الوحدة التاسعة : شبكات الألياف البصرية

الجدارة: هي القدرة على التعرف على شبكات الألياف البصرية (SDH\SONET) والمكونات الأساسية لها...

الأهداف: عندما تكتمل هذه الوحدة تكون لدى المتدرب القدرة على أن:

- يتعرف على الشبكات البصرية المتزامنة (SONET).
- يتعرف على بنية اطار الحامل البصري لشبكة (SONET).
- يتعرف على شبكة التسلسل الهرمي المتزامن (SDH).
- يدرس بنية الاطارات (STM-x) لشبكة (SDH).
- يتعرف على الطبقات والبنية الحلقية لشبكة (SDH).
- يتعرف على الشبكات البصرية شبه المتزامنة (PDH).

مستوى الاداء المطلوب: أن يصل المتدرب على إتقان الجدارة بنسبة ٩٠٪

الوقت المتوقع للتدريب على الجدارة: ٩ ساعات.

الوسائل المساعدة:

- السبورة.
- استخدام برنامج "Power Point" لعرض محاضرات شبكات الألياف البصرية.

متطلبات الجدارة:- أن يكون المتدرب ملماً بمحتوى مقرر **أساسيات الاتصالات الرقمية**

شبكات الألياف البصرية

Optical Network

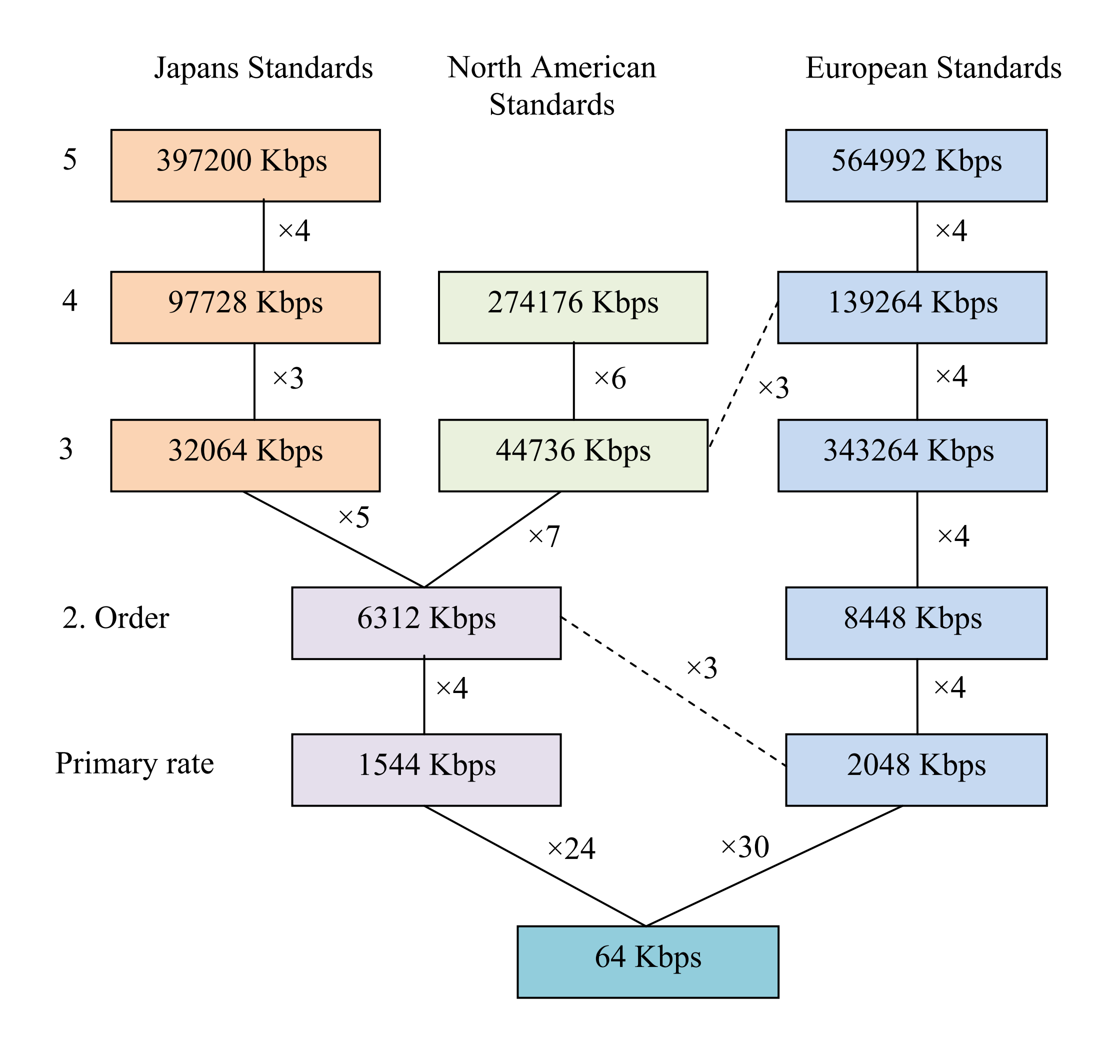
مقدمة

شبكات الألياف البصرية هي شبكات نقل البيانات باستخدام الألياف البصرية كخطوط نقل مما يمنحها سرعات نقل عالية، في بداية الثمانينات كان استخدام الليف البصري كناقل للبيانات شائعا و ممكناً و لكن دون وضوح معايير ثابتة لنقل البيانات عند السرعات العالية للتراسل الضوئي، من أول نظم شبكات الألياف البصرية ظهوراً كان الشبكة الهرمية الرقمية شبه المتزامنة (Plesiochronous Digital Hierarchy-PDH) والذي كان مستخدماً لنقل كميات كبيرة من البيانات والاتصالات الهاتفية على الألياف البصرية بدون مشاكل حيث كانت أعلى سرعة فيها هي (140 Mbps) والإشارات فيها شبه متزامنة.

في نهاية الثمانينات وبداية التسعينات ظهرت الشبكات البصرية المتزامنة ففي أمريكا الشمالية تم تطوير الشبكة البصرية المتزامنة (Synchronous Optical Networking-SONET) ووضع معاييرها، وفي أوروبا تطورت شبكة التسلسل الهرمي الرقمي المتزامن (Synchronous Digital Hierarchy-SDH) ووضع المعايير الخاصة بها عن طريق المعهد الأوروبي لمعايير الاتصالات السلكية واللاسلكية، والمعايير الأوربية (معايير SDH) تطبق في جميع أنحاء العالم ما عدا أمريكا الشمالية واليابان حيث إن لديهم معايير لشبكات خاصة بكل منهما. شكل (٩- ١) يوضح التسلسل الهرمي لسرعات الإرسال وفقا للمعايير المختلفة.

وهذا التطور في بناء شبكات الألياف البصرية المتزامنة ساعد مزودي الخدمة من تلبية الطلب المتنامي لتطبيقات النطاق العريض من فئات المستخدمين المختلفة والتي تحتاج معدلات إرسال عالية (155Mbps – 10Gbps). حيث تعد تقنيتي (SONET/SDH) أهم ناقل للمعلومات في مجال الإنترنت.

نظام التسلسل الهرمي الرقمي المتزامن (SDH) هو أحدث معيار لشبكات الألياف البصرية وهو المعتمد في جميع دول العالم ما عدا أمريكا الشمالية واليابان وبالتالي هو المعيار المطبق لشبكات الألياف البصرية داخل المملكة العربية السعودية لذا سوف يكون تركيزنا على هذا النظام ولكن ليتم فهم شبكة (SDH) يستلزم معرفة أساسيات شبكة (SONET).



شكل (٩- ١) التسلسل الهرمي لسرعات الإرسال وفقا للمعايير المختلفة

٩- ١ الشبكة البصرية المتزامنة Synchronous Optical Network-SONET

شبكة (SONET) يمكن تعريفها بأنها شبكة تقوم بنقل عدة إشارات ذات سرعات متباينة عبر الألياف البصرية بشكل متزامن ومرن وسرعة نقل منظمة بشكل هرمي. ويعتمد معيار الشبكة البصرية المتزامنة (SONET) على تعريف إطارات الحوامل البصرية (Optical Carriers-OC).

تبدأ إطارات الحوامل البصرية من الإطار (OC-1) ومعدل نقل البيانات فيه (51.84 Mbps)، والذي يكافئ إشارة النقل المتزامن الأول (Synchronous Transport Signal STS-1) للإشارات الكهربائية. بعد ذلك يتم توليد مستويات أعلى بالمضاعفات (OC-3)، (OC-12)، (OC-48)، (OC-192)، (OC-768) حيث أن الرقم يعني أن معدل البيانات يرتفع بمقدار (51.84) مضروباً في الرقم الذي بجوار (OC) ولهذا السبب سميت بالتزامنية وهي ميزة تجعل من السهولة إضافة وسحب (Add-Drop) قناة ما

مدمجة مع قنوات أخرى دون الحاجة لتعقيدات الفك والدمج وإعادة المعالجة. الجدول (٩- ١) يوضح مستويات الحوامل البصرية في شبكة (SONET).

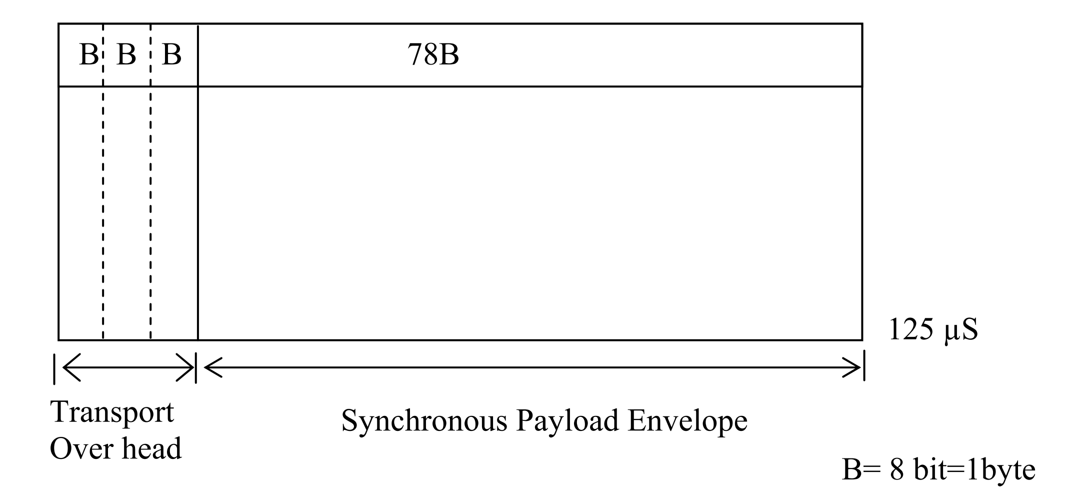
جدول (٩- ١) التسلسل الهرمي لسرعات النقل في شبكة (SONET)

Signal	Capacity	Bit Rate
STS-1, OC-1	28 DS1s or 1 DS3	51.840 Mbps
STS-3, OC-3	84 DS1s or 3 DS3s	155.520 Mbps
STS-12, OC-12	336 DS1s or 12 DS3s	622.080 Mbps
STS-48, OC-48	1344 DS1s or 48 DS3s	2488.320 Mbps
STS-192, OC-192	5376 DS1s or 192 DS3s	9953.280 Mbps
STS-768, OC-768	21704 DS1s or 192 DS3s	39813.12 Mbps

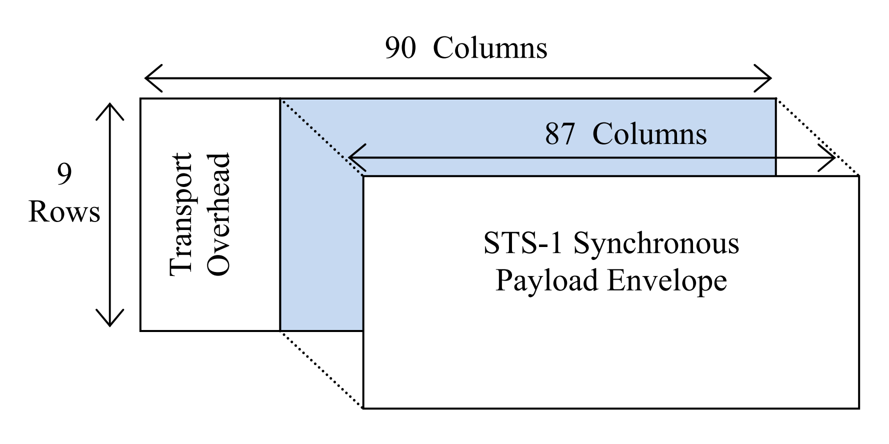
٩- ١- ١ اشتقاق إطار الحامل البصري OC-1

إطار الحامل الضوئي (OC-1) يتشكل بإنشاء هيكلة مكونة من بايتات يتم توزيعها بشكل مصفوفة من البايتات مكونة من ("90" عمود × "9" صفوف) كما بالشكل (٩- ٢) والشكل (٩- ٣)،أي أن سعة الإطار تساوي (810 byte/Frame)، ويوجد (8000) إطار في الثانية الواحدة وهذا يعني أن الزمن اللازم لكل إطار هو (125μS)، ولما كانت سعة الإطار هي (810) بايت وكل بايت واحد يتكون من (8 bit) فيصبح معدل البيانات لإطار الحامل البصري (OC-1) هو :-

$$\begin{aligned} BR &= 8000 Frame/s \times 810 byte/Frame \times 8 bit/byte \\ &= 5184000\, bps = 51.84\, Mbps \qquad (9.1) \end{aligned}$$



شكل (٩- ٢) صيغة إطار الحامل البصري OC-1



شكل (٩- ٣) عناصر إطار الحامل البصري STS-1, OC-1

يستطيع (CO-1) التعامل مع مخازن افتراضية (دوائر هاتفية) (Virtual Trunks VTs) متنوعة وذلك حسب نوع الواجهة المراد التعامل معها (هل هي مثلا واجهة المشترك الرقمي (DS-1) أم واجهات (E1) أم مضاعفاتها). هذه المخازن هي:

- VT 1.5 : بمعدل بيانات (1.728Mbps) أي أنها قادرة على استضافة واجهات (DS-1) والتي معدلها (1.544Mbps).
- VT2 : بمعدل بيانات (2.304Mbps) أي أنها قادرة على استضافة واجهة النظام الأوروبي (E1) ذات المعدل (2.048Mbps)
- VT3 : بمعدل (3.456Mbps)

- VT6 : بمعدل (6.912Mbps) وهي مناسبة لواجهات (DS-2) الأمريكية ذات المعدل (6.312Mbps)

على هذا الأساس يستطيع (OC-1) استيعاب ما مقداره (28 DS-1) أو (1 DS-3) (لأن معدل بياناتها (44.736Mbps) (أي 672 مشترك رقمي أو قناة هاتفية)، انظر الجدول (٩- ١).

٩- ٢ شبكة التسلسل الهرمي الرقمي المتزامن Synchronous Digital Hierarchy-SDH

يوجد تشابه كبير في شبكة (SONET) و شبكة (SDH) في طريقة العمل والوظيفة إلا أن هناك بعض الاختلافات البسيطة، حيث نجد أن سعة الإطار الواحد لشبكة (SONET) هي (810byte) أما سعة الإطار الواحد في شبكة (SDH) فتبلغ (2430byte) وسوف نوضح في الجزء التالي أساسيات شبكة (SDH) من حيث بنية الإطارات وبنية ومكونات الشبكة.

٩- ٢- ١ بنية الإطارات STM-x لشبكة-SDH SDH Frame Structure

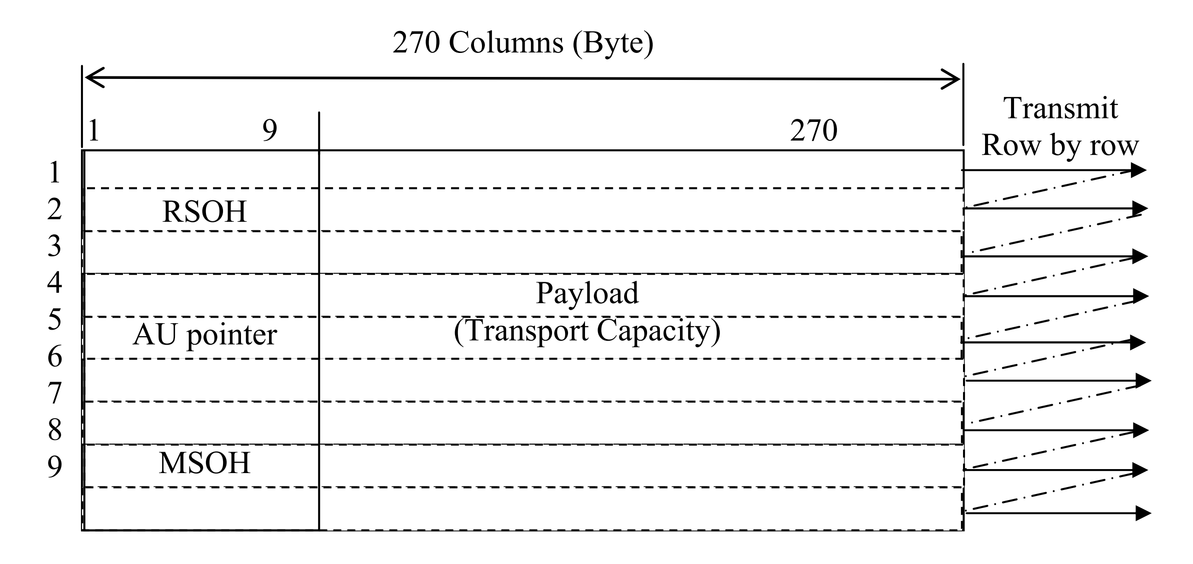
إن معيار شبكة (SDH) يشابه إلى حد كبير في الأهداف والبنية لمعيار شبكة (SONET) إلا أن معيار شبكة (SDH) يعتمد على تعريف إطار وحدة النقل المتزامنة (Synchronous Transport Module-STM) وهو إطار مضاعف ثلاث مرات من إطار الحامل البصري (OC-1) الذي تم شرحه في شبكة (SONET) ثم يتضاعف هذا الإطار في مستويات جديدة بمضاعفات رباعية وهي

STM-1, STM-4, STM-16, STM-64, STM-256

يبدأ أول مستوى في معيار (SDH) بـ(STM-1) وبمعدل بيانات (155.52Mbps) أي تماما ثلاثة أضعاف (CO -1). تم اشتقاق هذا المستوى بطريقة شبيهة لمستوى (OC) ولكن بتقسيم إطار (STM) إلى مصفوفة من البايتات مكونة من ("270" عمود × "9" صفوف) أي (2430 byte/Frame) كما يتضح من الشكل (٩- ٤) والذي يوضح بنية الإطار (STM-1) وبالتالي يكون معدل البيانات هو

$$BR = 8000\,Frame\,/\,s \times 2430\,byte\,/\,Frame \times 8bit\,/\,byte = 155.52\,Mbps \qquad (2.9)$$

إرسال البيانات يتم صف صف مبتدأ بالبايت المتواجد في الركن الأيسر العلوي ومنتهياً بالبايت الموجود بالركن الأيمن السفلي علماً بأن زمن إطار(STM-1) هو (125μs) وهو نفس زمن إطار (CO-1)



شكل (٩- ٤) بنية إطار (STM-1) لشبكة (SDH)

الإطار (STM-1) قادر على نقل أي إشارة من الشبكة الهرمية الرقمية شبه المتزامنة (PDH) لها معدل (≥ 140Mbps)، ويوضح الجدول (٩- ٢) مستويات إطارات وحدة النقل المتزامنة (STM-x) وما يكافئها من مستويات إطار الحامل البصري (OC-x) المستخدم في معيار شبكة (SONET).

جدول (٩- ٢) إطارات شبكة (SONET) والإطارات المكافئة لها في شبكة (SDH)

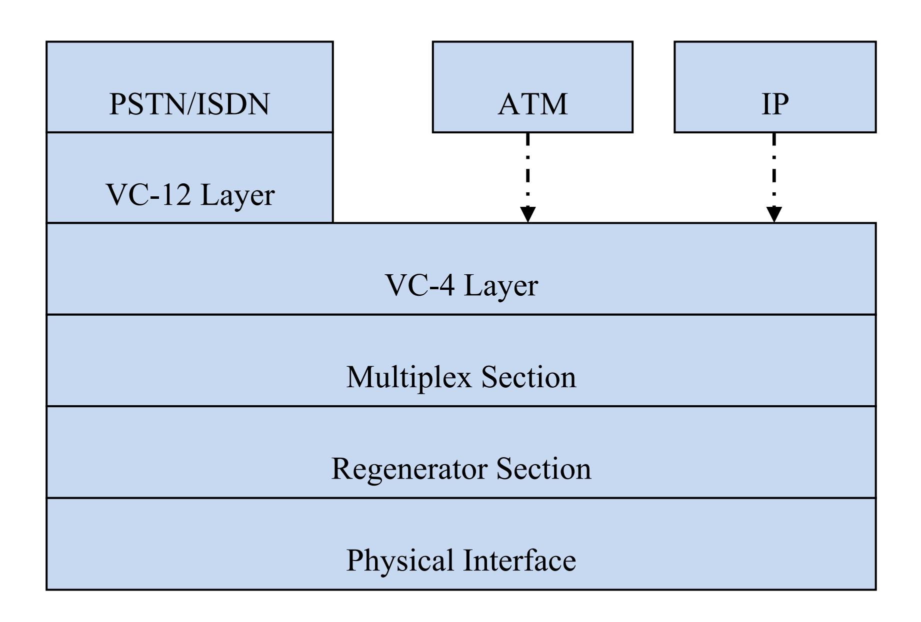
SONET signals	Bit rates	Equivalent SDH signal
STS-1, OC-1	51.840 Mbps	STM-0
STS-3, OC-3	155.520 Mbps	STM-1
STS-12, OC-12	622.080 Mbps	STM-4
STS-48, OC-48	2488.320 Mbps	STM-16
STS-192, OC-192	9953.280 Mbps	STM-64
STS-768, OC-768	39813.12 Mbps	STM-256

٩- ٢- ٢ بنية شبكة -SDH SDH Network Structure

تتكون بنية شبكة (SDH) من طبقات مختلفة ترتبط مباشرة بطوبولوجيا (Topology) الشبكة، ومن الشكل (٩- ٥) هذه الطبقات هي:-

- **الطبقة المادية Physical Layer**

هي أدنى طبقة وتمثل خط النقل المستخدم للربط بين أجزاء الشبكة و غالباً يكون الألياف البصرية وفي بعض الأحيان الميكروويف أو الأقمار الصناعية.



شكل (٩- ٥) بنية شبكة SDH

- **الطبقة الفوقية** Overhead Layer

وتشمل جزأين الجزء الأول جزء المعيدات (Regenerator Section Overhead- RSOH) ويتم فيه توليد إشارات التزامن الخاصة بهذه الطبقة. والجزء الثاني يستخدم لتلبية احتياجات قسم التعدد (Multiplex Section Overhead- MSOH).

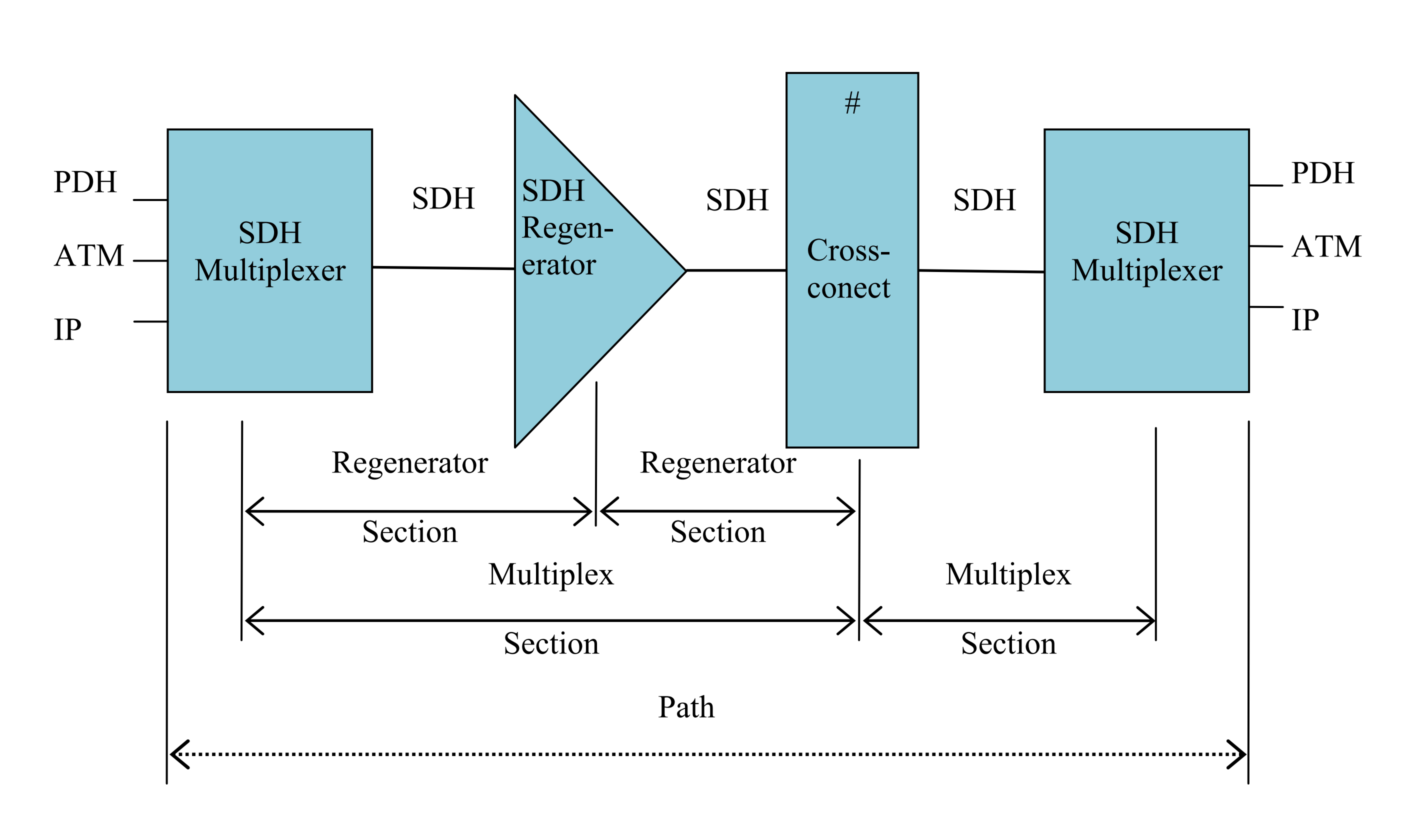
- طبقة الإطارات الافتراضية Virtual Containers -VC

وهي المسؤولة عن عملية تنظيم نقل البيانات داخل الشبكة حيث يتم عن طريقها دمج الإشارات الأخرى والتي لها معدلات نقل منخفضة مثل إشارات النقل الغير متزامن (PDH) و(ATM) داخل شبكة (SDH) وتنقسم هذه الطبقة إلى:-

أ- إطار افتراضي VC-4:- يستخدم لدمج الإشارات التي لها معدل يساوي (140Mbps) مثل إشارات (ATM)

ب- إطار افتراضي VC-12:- يستخدم لدمج الإشارات التي لها معدل نقل (2Mbps)

الشكل (٩- ٦) يوضح أجزاء المسار (Path Section) لشبكة (SDH)



شكل (٩- ٦) أجزاء المسار لشبكة "SDH"

٩- ٢- ٣ مكونات شبكة –SDH

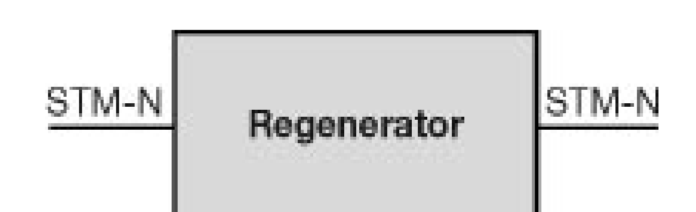
يوضح الشكل (٩- ٧) البنية الحلقية (Ring Structure) للشبكة موضحاً خليط من التطبيقات المختلفة التي يتم نقل بياناتها باستخدام شبكة (SDH) حيث إن الشبكة لديها القدرة في نفس الوقت على نقل بيانات غير متزامنة مع بيانات متزامنة وهذا بدوره يتطلب وجود مكونات محددة لشبكة (SDH) لتحقق المطلوب منها. ويتكون هيكل الشبكة (أو هيكل الحلقة) من أربع عناصر أساسية وهي:-

140Mbps
2Mbps
TM
STM-1
ADM
STM-1, STM-4
140Mbps
ADM
STM-4/-16
ADM
2Mbps
34Mbps
AM-Switch
STM-1
34 Mbps
8Mbps
2Mbps
LAN
DXC
STM-1 /STS-3C Gateway To SONET
2 Mbps
34Mbps
140 Mbps
STM-1
STM-4
ADM: Add-Drop Multiplexer
DXC: Digital Cross Connect
TM: Terminal Multiplexer

شكل (٩- ٧) الهيكل الحلقي لشبكة SDH

أ- المعيدات Regenerators

وظيفة المعيدات هي إعادة توليد الشكل الأصلي للإشارة المستقبلة والتي حدث لها توهين وتشويه أثناء عبورها خلال الليف البصري ومن ثم تعيد إرسالها مرة أخرى. والمعيدات تولد إشارة التزامن بناءً على تزامن الإشارة المستقبلة، شكل (٩- ٨) .



شكل (٩- ٨) معيد لشبكة SDH

ب- المعدد الطرفي Terminal Multiplexer-TM

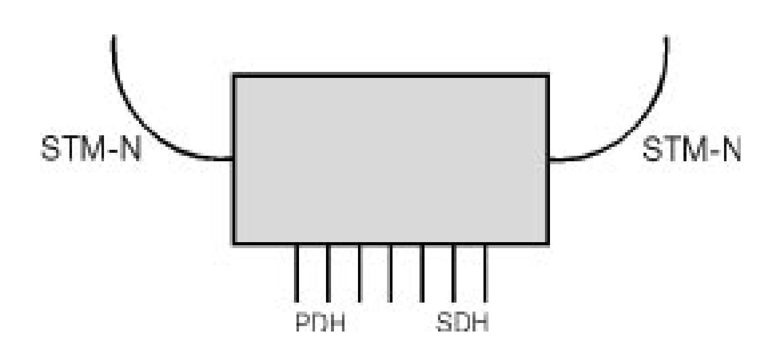
المعدد الطرفي (شكل ٩- ٩) يستخدم لتجميع الإشارات الشبه متزامنة والإشارات المتزامنة معاً داخل إطار ات وحدة النقل المتزامنة (STM-N) عالي السرعة.



شكل (٩- ٩) المعدد الطرفي TM

ج- معدد الإضافة - السحب Add/Drop Multiplexer-ADM

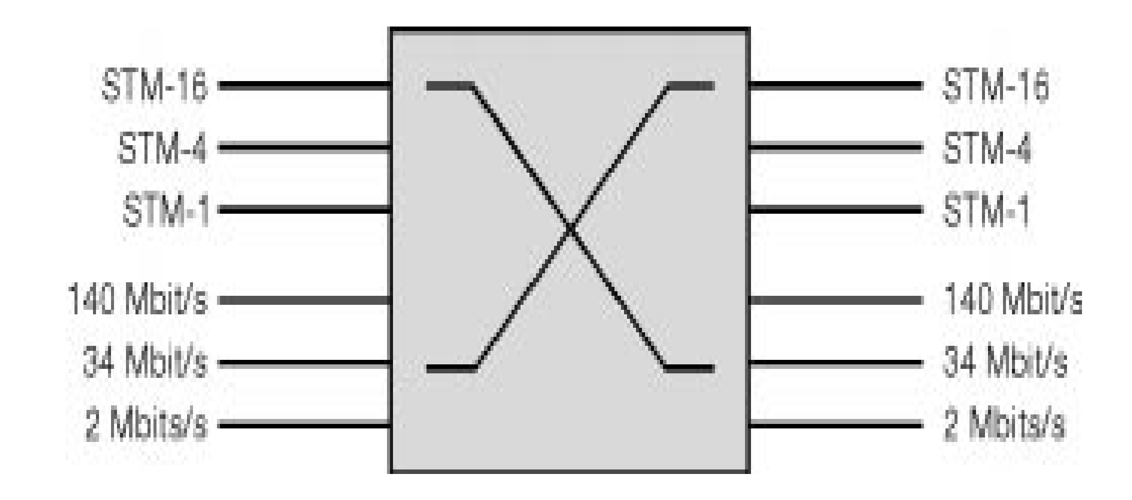
يقوم معدد الإضافة- السحب (ADM) بإضافة او سحب الإشارات شبه المتزامنة والإشارات المتزامنة ذات سرعة الإرسال المنخفضة إلى أو من مسار إشارة (SDH) العالية السرعة.



شكل (٩- ١٠) معدد الإضافة والاستلام ADM

د- التوصيل المتقاطع الرقمي Digital Cross Connection-DXC

دائرة التوصيل المتقاطع الرقمي (DXC) الموضحة بالشكل (٩- ١١) لها وظائف كثيرة منها أنها تقوم بتنظيم إشارات شبكة (PDH) داخل الإطارات الافتراضية (Virtual Containers-VC) بالإضافة إلى أنها تقوم بعملية التبديل بين محتويات الإطارات الافتراضية المختلفة (VC-4) و(VC-12) .



شكل (٩- ١١) التوصيل المتقاطع الرقمي DXC

٩- ٣ عيوب ومميزات SONET/SDH

- **أولاً: المميزات**

تم تطوير معيار الشبكات الضوئية المتزامنة في الثمانينات بهدف التوجه نحو هيكلية جديدة من الاتصالات تتمتع بالمزايا الآتية:

- معدلات إرسال عالية تصل إلى "10Gbps"
- تقليل متطلبات المعدات وزيادة مرونة الشبكة حيث إنه يمكن تغير سرعات الإرسال لأي خط من الخطوط داخل الشبكة لتلبية احتياجات المستخدمين وذلك من غرفة التحكم المركزي للشبكة بدون الحاجة لتغير أي من عتاد الشبكة.
- دعم بيانات إضافية للإدارة وتحليل الأخطاء (Overhead bytes & Payload)

- إعادة تعريف التعددية التزامنية (Synchronous Multiplexing) للإشارات الرقمية الأساسية حيث يوجد بالهيكلة المتزامنة مؤشر يشير للقناة المفروض عليها العمل ويتم عمل إزالة تعدد (Demultiplex) للقناة المطلوبة فقط بدلاً من عمل إزالة تعدد لجميع القنوات،وبالتالي تسهيل عمليات التعدد في بنية حديثة تعتمد الإضافة والسحب (Add-Drop) بدون وجود تأخير زمني في مسارات الشبكة.

- نتيجة لتوحيد شفرات الإشارات الضوئية يمكن ربط الوحدات النهائية لعدة أجهزة مختلفة من عدة شركات مع بعضها البعض. على نفس الشبكة مما يقلل من التكلفة

- يمكن التحويل المباشر من الإشارة الكهربائية إلى إشارة ضوئية بدون أي تعقيدات في خط التشفير.

- مضاعفة السعات في الهيكلة الرقمية المتزامنة يتم بالضرب في أعداد صحيحة للسعة الأولية مما يعني عدم الحاجة لإطار جديد.

- يمكن في المستقبل إرسال حزمة واسعة من الإشارات بواسطة الهيكلة الرقمية المتزامنة.

- **ثانيا العيوب**

- التعقيد التقني من حيث الحاجة المستمرة لزيادة معدلات الإرسال وتسجيل الفارق بين إشارات الروافد (Tributary Signal) و إشارات السعة الإضافية (Overhead)

- نظام الهيكلة الرقمية المتزامنة يعاني من اضطرابات في طور الموجة (Jitter) أكثر من الأنظمة الأخرى وذلك لاستخدامه الإرسال الثماني (byte by byte) بدلاً من الإرسال الأحادي (bit by bit).

- عدم توحيد بنية المعدد (Multiplexer) لإرسال الإشارات الشبه متزامنة في الهيكلة الأوروبية والأمريكية يقودنا إلى عدة خيارات للمعدد مما يتطلب تصاميم مختلفة لعتاد الشبكة.

٩- ٤ الشبكة الهرمية الرقمية شبه المتزامنة Plesiochronous Digital Hierarchy-PDH

يستعمل معيار الشبكة الهرمية الرقمية شبه المتزامنة (PDH) الألياف الضوئية لنقل البيانات ولكن بشكل شبه متزامن وبقدرة استيعابية تبدأ من (64Kbps) واجهة (E-1) أوروبية أي بمعدل بيانات حوالي (140 Mbps) وأخرى مضاعفة أربع مرات أي حوالي (565 Mbps) . تتميز معايير شبكتي (SONET وSDH) في قدرتها على استضافة هذا المعيار أيضاً.

٩- ٥ مستقبل الشبكات البصرية المتزامنة Future Of SDH/SONET

ما زال المعياران (SONET/SDH) يشكلان ثورة تقنية في نقل المعلومات حتى اليوم. إلا أن الآمال في رفع معدلات النقل أعلى من (40Gbps) تعقدت أكثر، الأمر الذي أدى للتفكير في استغلال النطاق الترددي العريض للإرسال الضوئي (يطلق عليه النطاق الموجي بالنسبة للضوء). لهذا ظهرت توجهات جديدة نحو التعدد بتقسيم الطول الموجي (Wavelength Diviation Multiplexing -WDM) و التعدد بتقسيم الطول الموجي المضغوط (Dense Wavelength-Division Multiplexing - DWDM) والتي تسمح بإرسال بيانات متوازية بأطوال موجية مختلفة على نفس قناة الألياف الضوئية كما أن هذه الميزة تسمح أيضا بالإرسال والاستقبال على نفس الشعيرة دون تداخل (على عكس الإرسال عبر شبكة (SDH) وشبكة (SONET) والتي تعتمد على تخصيص طول موجي واحد في القناة).

تدريبات على الوحدة التاسعة

تمرين١: عرف الشبكة البصرية المتزامنة (SONET)؟

تمرين٢: ما هو زمن اطار الحامل البصري OC-3؟

تمرين٣: أذكر المخازن الافتراضية المستخدمة في شبكة (SONET)؟

تمرين٤: ما هي أوجه الشبه بين معيار شبكة (SONET) ومعيار شبكة (SDH)؟

تمرين٥: ما هي أوجه الاختلاف بين معيار شبكة (SONET) ومعيار شبكة (SDH)؟

تمرين٦: ما هي طبقات شبكة (SDH)؟

تمرين٧: ما هي مكونات البنية الحلقية لشبكة (SDH)؟

تمرين٨: ما هي مميزات الشبكات البصرية (SONET/SDH) ؟

تمرين٩: ما هي عيوب الشبكات البصرية (SONET/SDH)؟